

控制与决策

Control and Decision



政府补贴和成本共担如何影响平台和企业策略选择——基于三方演化博弈

周晓阳, 赵凡, 刘莹, 汪寿阳

引用本文:

周晓阳, 赵凡, 刘莹, 等. 政府补贴和成本共担如何影响平台和企业策略选择——基于三方演化博弈[J]. 控制与决策, 2022, 37(2): 293–302.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2021.0853>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

考虑政府补贴的新产品与再制造产品定价模型

Pricing models of new products and remanufactured products under government subsidies

控制与决策. 2022, 37(1): 196–204 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2020.1090>

混合碳政策下制造商低碳转型的技术选择策略

Technology selection in low carbon transition of the manufacturer under mixed carbon policy

控制与决策. 2021, 36(7): 1763–1770 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.1536>

考虑绿色网络效应的再制造产品最优生产决策及产品之间的竞争

Optimal production for remanufacturing products and competition among consumers in the presence of green network effect

控制与决策. 2021, 36(4): 993–1002 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.0366>

考虑绿色网络效应的再制造产品最优生产决策及产品之间的竞争

Optimal production for remanufacturing products and competition among consumers in the presence of green network effect

控制与决策. 2021, 36(4): 993–1002 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.0366>

政府补贴和增值税退税政策的闭环供应链决策

Closed-loop supply chain decisions under government subsidies and VAT rebates

控制与决策. 2021, 36(11): 2771–2782 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2020.0356>

政府补贴和成本共担如何影响平台和企业策略选择 ——基于三方演化博弈

周晓阳^{1,2,3†}, 赵凡¹, 刘莹¹, 汪寿阳³

(1. 西安电子科技大学 经济与管理学院, 西安 710126; 2. 西安交通大学 管理学院, 西安 710049;
3. 中国科学院大学 数学与系统科学研究院, 北京 100190)

摘 要: 基于地方政府对工业互联网平台和加入平台的制造业企业的补贴, 以及工业互联网平台与制造业企业间的成本共担, 构建“政府-平台-企业”3个主体之间的非对称演化博弈模型, 运用微分方程的稳定性定理分析各博弈主体的策略演化路径以及影响其策略演化的因素, 并通过雅克比矩阵探讨系统的演化稳定策略. 通过数值仿真分析政府补贴力度和平台成本分担比例对系统演化稳定策略的影响, 界定可以促使制造业企业加入平台、工业互联网平台进行优化服务的政府补贴力度和成本分担比例的有效区间, 为地方政府、工业互联网平台和制造业企业的行为决策提供理论参考.

关键词: 政府补贴; 成本共担; 工业互联网平台; 三方演化博弈

中图分类号: TP273

文献标志码: A

DOI: 10.13195/j.kzyjc.2021.0853

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



引用格式: 周晓阳, 赵凡, 刘莹, 等. 政府补贴和成本共担如何影响平台和企业策略选择 —— 基于三方演化博弈 [J]. 控制与决策, 2022, 37(2): 293-302.

How do government subsidies and cost sharing affect platform and enterprise strategy choice — Based on tripartite evolutionary game

ZHOU Xiao-yang^{1,2,3†}, ZHAO Fan¹, LIU Ying¹, WANG Shou-yang³

(1. School of Economics and Management, Xidian University, Xi'an 710126, China; 2. School of Management, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China; 3. Academy of Mathematics and Systems Science, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract: Based on the local government's subsidy for the industrial internet platform and the platform of manufacturing enterprises, and the cost sharing between the industrial internet platform and the manufacturing enterprise, this paper constructs the asymmetry evolutionary game model between “government-platform-enterprise”, using the stability theorem of differential equations to analyze the strategy evolution path of each game player and the factors that affect their strategy evolution, and discuss the evolutionary stability strategy of the system through the Jacobian matrix. In the numerical simulation part, the influence of government subsidy intensity and platform cost sharing ratio on the system evolution and stability strategy is analyzed, and the effective interval of government subsidy intensity and cost sharing ratio is defined, which can encourage the manufacturing enterprise to join the platform and industrial Internet platform to optimize the service, and provide a theoretical reference for local governments, industrial Internet platforms and manufacturing enterprises to make behavioral decisions.

Keywords: government subsidies; cost sharing; industrial internet platform; tripartite evolutionary game

0 引言

在全球经济市场日益低迷、国内经济增长速度逐渐下降的环境下, 面对快速变革的市场格局和越来越大的市场竞争压力, 制造业企业转型发展已成为

必然. 作为新一代信息技术和制造业深度融合的产物, 工业互联网平台的出现为企业转型发展提供了新机遇. 目前, 工业互联网平台在产品的全生命周期服务和生产资源优化配置等方面发挥着重要作用^[1]. 为

收稿日期: 2021-05-14; 录用日期: 2021-08-18.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71871175, 71640013); 陕西省创新人才促进计划青年科技新星项目(2019KJXX-031).

责任编辑: 霍宝锋.

[†]通讯作者. E-mail: x.y.zhou@foxmail.com.

此,很多大型工业企业、互联网企业以及信息技术企业开始聚焦于工业互联网平台的建设发展。2013年,GE打造出Predix平台后,西门子、博世等国际工业巨头纷纷开始依托自身制造业基础建立平台。在国内,海尔于2016年推出了COSMO平台,这是我国首个自主研发的工业互联网平台^[2]。当前,我国已形成具有行业影响力的平台80多家^[3],工业互联网平台建设发展成效显著。但是,由于部分产业基础薄弱,应用场景复杂等的原因,相比于发达国家,我国工业互联网平台仍存在创新发展能力不足等问题。此外,我国部分制造业企业上平台用平台能力欠缺,进一步制约了平台价值效益的发挥^[4]。为此,在国家政策的指导下,广州、上海等多个省市相继发布了推动工业互联网平台运营能力建设、赋能制造业企业转型发展的实施方案。例如,上海市设立了工业互联网创新发展以及中小企业发展等多项专项资金,支持具有较高创新服务能力的平台建设发展以及中小制造业企业上平台。除政府补贴外,工业互联网平台也会选择分担制造业企业部分入平台用平台成本。例如,中服工业互联网平台推出的“设备免费上云”等活动,极大地提高了制造业企业入平台用平台的积极性。

可见,制造业企业依托工业互联网平台转型发展是一项长期系统工程,需要多个主体的共同参与^[5]。鉴于此,本文构建了政府、工业互联网平台与制造业企业之间的非对称演化博弈模型,主要探讨三者之间的决策行为以及影响其决策的主要因素。与本文相关的研究主要可以分为两类:第1类是政府补贴对制造业企业转型发展影响的研究;第2类是关于成本共担的研究。

已有诸多学者研究了政府不同补贴方式对制造业企业转型发展的影响^[6-7]。例如,熊勇清等^[8]采用Stackelberg博弈方法建立了政府补贴新能源汽车制造商和补贴消费者下制造商最优定价模型,比较分析了不同补贴方式下制造商的最优定价策略。Bian等^[9]建立了消费者环境关切下政府、制造商以及消费者之间的博弈模型,分析了政府两种不同补贴方式对制造商减排结果的影响。以上研究均考虑了政府不同补贴方式对企业转型发展的影响。还有一些学者的研究主要集中于政府最优补贴^[10-12],例如,Yang等^[13]基于政府和两个生产绿色产品且互相竞争的企业组成的管理系统构建了博弈模型,以寻求政府的最优补贴额。与文献[13]类似,本文主要探讨政府不同补贴力度对企业转型发展过程中策略选择的影响,与以上文献采用传统博弈和实证分析方法不同的是,本文采

用演化博弈模型方法进行研究,从有限理性的角度出发,考虑到个体策略选择的动态发展机制有其特有的优势。当前也有文献采用演化博弈方法研究政府最优补贴,例如,Zhao等^[14]通过构建制造商与再制造商之间的演化博弈模型,研究探讨了可以促使系统达到理想状态的最优补贴。与以上学者研究不同的是,本文考虑到政府的收益,将政府作为独立的博弈方加入模型,在为工业互联网平台和制造业企业提供理论借鉴的同时也为政府今后补贴策略的制定提供更好的建议。

随着各国对低碳经济重视程度的不断加深,一些学者开始将成本共担引入到低碳供应链领域进行研究^[15-17]。例如,支帮东等^[18]在碳限额与交易价值下建立了制造商和供应商进行碳减排的Stackelberg博弈模型,考虑了成本共担对二者决策的影响。在此基础上陈洪转等^[19]将成本共担引入到产品研发外包领域,建立了制造商与供应商之间复杂产品零部件协同创新模型,对比探讨了成本共担和不共担模式下最优的产品创新程度和成本分担比例。此外,由于产品质量问题严峻,一些学者将成本共担引入到产品质量管理的研究^[20-21]中。例如,Fan等^[22]构建了一个由上游制造商和下游零售商组成的两级供应链博弈模型,研究了在制造商主导和零售商主导情形下,由质量缺陷引起的产品责任成本分担对产品质量决策、定价决策和企业利润的影响。以上学者关于成本共担的研究主要为供应链上下游成员之间的成本共担,与此不同的是,吴庆等^[23]在物流外包背景下建立了第三方物流服务商和客户企业之间的动态博弈模型,设计收入共享和服务成本共担合同协调客户企业的存货决策,主要研究了客户企业与第三方物流服务商之间的协调问题。由于工业互联网平台和制造业企业之间的成本分担比例在很大程度上影响着二者的策略选择,基于文献[23],本文将成本共担这一因素引入到模型中,研究成本共担对系统策略演化的影响,在扩展该方向的研究的同时使得问题更加贴合实际。

综上,本文考虑到平台成本分担比例和政府补贴力度的影响,构建政府、平台和企业之间的演化博弈模型,分析各个博弈主体策略选择的动态变化过程以及不同情形下系统的演化稳定状态;通过对参数进行赋值,验证文章演化稳定分析的有效性,并分析不同情形下政府补贴力度和成本分担比例对系统演化稳定状态的影响,为政府、工业互联网平台和制造业企业今后的发展提供理论借鉴。本文的创新点主要为:考虑到政府的策略得益,将政府作为博弈主体加

入到模型,综合研究政府、平台和企业三方博弈的作用机理;引入成本共担这一影响因素,考虑平台成本分担比例对系统演化稳定性的影响。

1 模型建立

1.1 问题描述和模型假设

工业互联网平台可以使企业实现信息、资源等的共享,推动企业快速转型发展。但当前我国工业互联网平台尚处于起步阶段,平台服务能力不足,企业入平台用平台积极性欠缺。为此,地方政府纷纷开始出台补贴政策,对具有较优服务能力的平台和入平台的企业给予补贴。可见,地方政府(政府)、工业互联网平台(平台)和制造业企业(企业)是工业互联网平台赋能制造业企业发展过程中3个非常重要的利益相关者。

基于此,本文采用演化博弈的方法,认为政府、平台、企业3个博弈主体都是以自身利益最大化为目标的有限理性主体,在博弈过程中根据自身收益不断调整和改进策略选择。假设政府的策略为“补贴”和“不补贴”,平台的策略为“优化服务”和“一般服务”,企业的策略为“加入平台”和“不加入平台”,构建“政府-平台-企业”之间的演化博弈模型,主要研究3个博弈主体之间行为交互的影响,分析不同情形下系统的演化稳定状态以及影响其演化稳定状态的重要因素。图1为各博弈主体的关系。

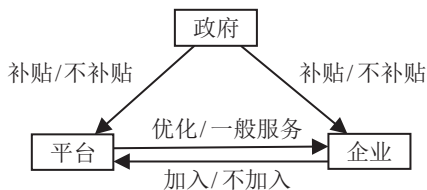


图1 各博弈主体的策略关系

为了合理地构建模型进行研究,进行如下假设。

假设1 本文的博弈有3个重要参与者:政府、平台和企业。企业选择“加入平台”策略的概率为 x ($0 \leq x \leq 1$),选择“不加入平台”策略的概率为 $1-x$;平台选择“优化服务”策略的概率为 y ($0 \leq y \leq 1$),选择“一般服务”策略的概率为 $1-y$;政府选择“补贴”的概率为 z ($0 \leq z \leq 1$),选择“不补贴”策略的概率为 $1-z$ 。

假设2 当企业选择加入平台策略时,企业可获得直接收益 R_I^i ($i = N, O$),若此时政府选择补贴策

略,则企业还可获得政府补贴 αS_I 。其中: N 和 O 分别为平台优化服务和一般服务, α 和 S_I 分别为政府对企业的补贴力度和最大补贴额, C_I 为付出相应接入和购买服务的成本, $k_i Q$ 为加入平台后因信息泄露产生的损失成本, k_i 为产生损失的可能性。企业选择不加入平台时,获得的收益为日常运营所得净收益 R_I 。

假设3 当平台选择优化服务策略且企业选择加入平台时,平台会获得 R_P^N 的直接收益,若此时政府选择补贴策略,则平台还可获得政府补贴 βS_P ,其中 β 和 S_P 分别为政府对平台的补贴力度和最大补贴额,付出优化服务成本 C_P^N ,并分担部分企业接入成本 δC_I ,其中 δ 为成本分担比例。此外,平台选择优化服务策略时还会获得因企业粘性增加而产生的间接收益 I_P 。

假设4 企业选择加入平台策略时,若平台选择优化服务,则政府会获得一定的经济和社会收益 R_G^N ,若平台选择一般服务,则政府获得的经济和社会收益为 R_G^O 。此时若政府选择补贴策略,则除了会付出一定的补贴成本 αS_I 和 βS_P 外,还会获得因补贴产生的社会声誉收益 F_G^P 和 F_G^I ,其中 F_G^P 和 F_G^I 分别为政府补贴平台和企业时获得的声誉收益。

1.2 符号说明

模型相关符号和含义说明如表1所示。

表1 模型符号及其含义

符号	意义
R_I^N	平台优化服务时企业获得的直接收益
R_I^O	平台一般服务时企业获得的直接收益
R_I	企业不加入平台时获得的净收益
C_I	企业加入平台购买云服务等所付出的成本
Q	企业加入平台因信息泄露可能产生的最大损失
k_N	平台优化服务时企业产生损失的可能性, $k_N \in [0, 1]$
k_O	平台一般服务时企业产生损失的可能性, $k_O \in [0, 1]$
x	企业选择“加入平台”策略的概率, $x \in [0, 1]$
R_P^N	平台优化服务时获得的直接收益
R_P^O	平台一般服务时获得的直接收益
I_P	平台优化服务时因企业粘性增加带来的间接收益
C_P^N	平台优化服务时所付出的成本
C_P^O	平台一般服务时所付出的成本
δ	成本分担比例, $\delta \in [0, 1]$
y	平台选择“优化服务”策略的概率, $y \in [0, 1]$
R_G^N	企业加入平台且平台优化服务时政府获得的经济和社会收益
R_G^O	企业加入平台且平台一般服务时政府获得的经济和社会收益
S_I	政府对企业的最大补贴额
α	政府对企业的补贴力度, $\alpha \in [0, 1]$
S_P	政府对平台的最大补贴额
β	政府对平台的补贴力度, $\beta \in [0, 1]$
C_G	政府因补贴政策的制定而产生的管理成本
F_G^I	政府补贴企业时获得的声誉收益
F_G^P	政府补贴平台时获得的声誉收益
z	政府选择“补贴”策略的概率, $z \in [0, 1]$

1.3 模型建立

3个博弈主体的混合策略博弈矩阵如表2所示。

表2 政府、平台和企业的混合策略博弈矩阵

企业	平台	政府	
		补贴(z)	不补贴($1-z$)
加入平台(x)	优化服务(y)	$R_I^N - (1-\delta)C_I + \alpha S_I - k_N Q$ $R_P^N - C_P^N + \beta S_P + I_P - \delta C_I$ $R_G^N - \alpha S_I - \beta S_P + F_G^P + F_G^I - C_G$	$R_I^N - (1-\delta)C_I - k_N Q$ $R_P^N - C_P^N + I_P - \delta C_I$ R_G^N
	一般服务($1-y$)	$R_I^O - (1-\delta)C_I + \alpha S_I - k_O Q$ $R_P^O - C_P^O - \delta C_I$ $R_G^O - \alpha S_I + F_G^I - C_G$	$R_I^O - (1-\delta)C_I - k_O Q$ $R_P^O - C_P^O - \delta C_I$ R_G^O
不加入平台($1-x$)	优化服务(y)	R_I $-C_P^N + \beta S_P$ $-\beta S_P + F_G^P - C_G$	R_I $-C_P^N$ 0
	一般服务($1-y$)	R_I $-C_P^O$ $-C_G$	R_I $-C_P^O$ 0

2 各博弈主体策略稳定性和演化路径分析

本节采用微分方程的稳定性定理分析3个博弈主体策略稳定性和演化路径.根据微分方程的稳定性定理,复制动态方程的稳定点应满足两个条件: $F(x) = 0, dF(x)/dx < 0$.

2.1 企业

1) 企业的均衡分析.

由收益矩阵可知,企业在博弈时选择“加入平台”策略的期望收益 U_I 、选择“不加入平台”策略的期望收益 U_{NI} 以及平均期望收益 $\bar{U}_I$ 分别为

$$\begin{cases} U_I = yz(R_I^N - (1-\delta)C_I + \alpha S_I - k_N Q) + \\ (1-y)z(R_I^O - (1-\delta)C_I + \alpha S_I - k_O Q) + \\ y(1-z)(R_I^N - (1-\delta)C_I - k_N Q) + \\ (1-y)(1-z)(R_I^O - (1-\delta)C_I - k_O Q), \\ U_{NI} = yzR_I + (1-y)zR_I + y(1-z)R_I + \\ (1-y)(1-z)R_I, \\ \bar{U}_I = xU_I + (1-x)U_{NI}. \end{cases} \quad (1)$$

2) 企业的复制动态分析.

有

$$\begin{aligned} F(x) &= dx/dt = x(1-x)(U_I - U_{NI}) = \\ x(1-x)[&((\delta-1)C_I - R_I + R_I^O - k_O Q + z\alpha S_I + \\ &y(R_I^N - R_I^O - k_N Q + k_O Q))]. \end{aligned} \quad (2)$$

对 $F(x)$ 关于 x 求一阶偏导,由式(2)可得

$$\frac{dF(x)}{dx} = (1-2x)[(\delta-1)C_I - R_I + R_I^O - k_O Q + z\alpha S_I + y(R_I^N - R_I^O - k_N Q + k_O Q)]. \quad (3)$$

令

$$W(z) = (\delta-1)C_I - R_I + R_I^O - k_O Q + z\alpha S_I + A,$$

$$z_0 = \frac{(1-\delta)C_I + R_I - R_I^O + k_O Q - A}{\alpha S_I},$$

其中 $A = y(R_I^N - R_I^O - k_N Q + k_O Q)$.

命题1 当 $0 < z_0 < z < 1$ 时, $x^* = 1$ 为演化稳定点;当 $0 < z < z_0 < 1$ 时, $x^* = 0$ 为演化稳定点.

证明 $W(z)$ 为增函数,当 $z = z_0$ 时, $W(z) = 0$,即 $F(x) = 0$,表明在此条件下所有水平都是稳定的,即无论企业选择加入平台还是不加入平台的概率如何,企业的策略都不会随着时间发生变化.当 $0 < z_0 < z < 1$ 时,有

$$W(z) > 0, \frac{dF(x)}{dx} \Big|_{x=0} > 0, \frac{dF(x)}{dx} \Big|_{x=1} < 0,$$

此时 $x^* = 1$ 为演化稳定点;当 $0 < z < z_0 < 1$ 时,有

$$W(z) < 0, \frac{dF(x)}{dx} \Big|_{x=0} < 0, \frac{dF(x)}{dx} \Big|_{x=1} > 0,$$

此时 $x^* = 0$ 为演化稳定点. $\square$

综上,企业策略的演化趋势如图2所示.

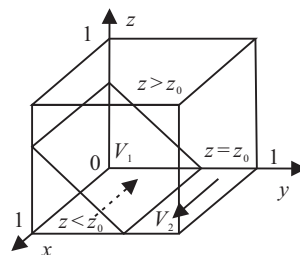


图2 企业策略动态趋势

命题2 在其他参数不变的情况下,随着 δ 、 α 、 R_I^N 和 R_I^O 的增大,企业更倾向于选择加入平台策略.随着 C_I 、 k_O 、 k_N 和 R_I 的增大,企业更倾向于选择不加入平台策略.表明企业选择加入平台策略的概率与成本分担比例、政府补贴力度以及加入平台的直接收益成正比,与加入平台所需付出的成本、可能产生的损失以及不加入平台的净收益成反比.

证明 由于

$$z_0 = \frac{(1-\delta)C_I + R_I - R_I^O + k_O Q - A}{\alpha S_I},$$

当 δ 、 α 、 R_I^N 和 R_I^O 逐渐增大时, z_0 的值会逐渐减小,此时 V_2 的体积增大,表明企业选择加入平台策略的概率增加。当 C_I 、 k_O 、 k_N 和 R_I 逐渐增大时, z_0 的值逐渐增大,此时图2中 V_2 的体积减小,表明企业选择加入平台策略的概率减小。□

2.2 平台

1) 平台的均衡分析。

平台在博弈时选择“优化服务”策略的期望收益 U_P 、选择“一般服务”策略的期望收益 U_{NP} 以及平均期望收益 $\bar{U}_P$ 分别为

$$\begin{cases} U_P = xz(R_P^N - C_P^N + \beta S_P + I_P - \delta C_I) + \\ (1-x)z(-C_P^N + \beta S_P) + \\ x(1-z)(R_P^N - C_P^N + I_P - \delta z C_I) + \\ (1-x)(1-z)(-C_P^N), \\ U_{NP} = xz(R_P^O - C_P^O - \delta C_I) + (1-x)z(-C_P^O) + \\ xz(1-z)(R_P^O - C_P^O - \delta C_I) + \\ (1-x)(1-z)(-C_P^O), \\ \bar{U}_P = yU_P - (1-y)U_{NP}. \end{cases} \quad (4)$$

2) 平台的复制动态分析。

有

$$\begin{aligned} F(y) &= dy/dt = y(1-y)(U_P - U_{NP}) = \\ &= y(1-y)[C_P^O - C_P^N + x(I_P + R_P^N - R_P^O) + z\beta S_P]. \end{aligned} \quad (5)$$

对 $F(y)$ 关于 y 求一阶偏导,由式(4)可得

$$\frac{dF(y)}{dy} = (1-2y)[C_P^O - C_P^N + x(I_P + R_P^N - R_P^O) + z\beta S_P]. \quad (6)$$

令

$$\begin{aligned} W(x) &= C_P^O - C_P^N + x(I_P + R_P^N - R_P^O) + z\beta S_P, \\ x_0 &= \frac{C_P^N - C_P^O - z\beta S_P}{I_P + R_P^N - R_P^O}. \end{aligned}$$

命题3 当 $0 < x_0 < x < 1$ 时, $y^* = 1$ 为演化稳定点;当 $0 < x < x_0 < 1$ 时, $y^* = 0$ 为演化稳定点。

证明 $W(x)$ 为增函数,当 $x = x_0$ 时, $W(x) = 0$,即 $F(y) = 0$,表明在此条件下所有水平都是稳定的,即无论平台选择优化服务或一般服务策略的概率如何,平台的策略都不会随着时间发生变化。当 $0 < x_0 < x < 1$ 时,有

$$W(x) > 0, \left. \frac{dF(y)}{dy} \right|_{y=0} > 0, \left. \frac{dF(y)}{dy} \right|_{y=1} < 0,$$

此时 $y^* = 1$ 为演化稳定点;当 $0 < x < x_0 < 1$ 时,有

$$W(x) < 0, \left. \frac{dF(y)}{dy} \right|_{y=0} < 0, \left. \frac{dF(y)}{dy} \right|_{y=1} > 0,$$

此时 $y^* = 0$ 为演化稳定点。□

综上,平台策略的演化趋势如图3所示。

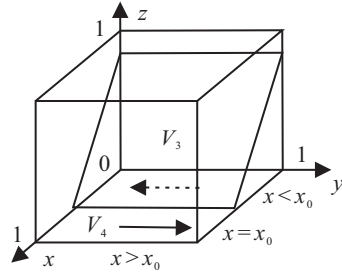


图3 平台策略动态趋势

命题4 随着 β 、 I_P 和 R_P^N 的增大,平台最终更倾向于选择优化服务策略。随着 C_P^N 、 C_P^O 和 R_P^O 的增大,平台最终更倾向于选择一般服务策略。即平台选择优化服务策略的概率与政府的补贴力度、优化服务时因企业粘性增加而获得的间接收益和直接收益成正比,与优化服务成本、一般服务时的直接收益和服务成本成反比。

证明 由于 $x_0 = \frac{C_P^N - C_P^O - z\beta S_P}{I_P + R_P^N - R_P^O}$,当 I_P 、 β 和 R_P^N 增大时, x_0 的值逐渐减小,图3中 V_4 体积增大,平台企业选择优化服务策略概率增加。当 C_P^N 、 C_P^O 和 R_P^O 的值逐渐增大, x_0 的值逐渐增大,图3中 V_4 的体积减小,平台企业选择优化服务策略的概率减小。□

2.3 政府

1) 政府的均衡分析。

政府在博弈时选择“补贴”策略的期望收益 U_G 、选择“不补贴”策略的期望收益 U_{NG} 以及平均期望收益 $\bar{U}_G$ 分别为

$$\begin{cases} U_G = xy[R_G^E - \alpha S_I - \beta S_P + F_G^P + F_G^I - C_G] + \\ x(1-y)[R_G^N - \alpha S_I + F_G^I - C_G] + \\ (1-x)y[-\beta S_P + F_G^P - C_G] + \\ (1-x)(1-y)(-C_G), \\ U_{NG} = xyR_G^E + x(1-y)R_G^N, \\ \bar{U}_G = zU_G - (1-z)U_{NG}. \end{cases} \quad (7)$$

2) 政府的复制动态分析。

有

$$\begin{aligned} F(z) &= \frac{dz}{dt} = z(1-z)(U_G - \bar{U}_G) = \\ &= z(1-z)[-C_G + x(F_G^I - \alpha S_I) + y(F_G^P - \beta S_P)]. \end{aligned} \quad (8)$$

对 $F(z)$ 关于 z 求一阶导,由式(8)可得

$$dF(z)/dz = (1-2z)[-C_G + x(F_G^I - \alpha S_I) + y(F_G^P - \beta S_P)].$$

令

$$y_0 = \frac{C_G - x(F_G^I - \alpha S_I)}{F_G^P - \beta S_P},$$

$$W(y) = -C_G + x(F_G^I - \alpha S_I) + y(F_G^P - \beta S_P).$$

命题5 若 $F_G^P - \beta S_P > 0$, 则当 $0 < y_0 < y < 1$ 时, $z^* = 1$ 为演化稳定点; 当 $0 < y < y_0 < 1$ 时, $z^* = 0$ 为演化稳定点. 若 $F_G^P - \beta S_P < 0$, 则当 $0 < y_0 < y < 1$ 时, $z^* = 0$ 为演化稳定点; 当 $0 < y < y_0 < 1$ 时, $z^* = 1$ 为演化稳定点.

证明 $F_G^P - \beta S_P > 0$ 时, $W(y)$ 为增函数. 当 $y = y_0$ 时, $W(y) = 0$, 即 $F(z) = 0$, 表明在此条件下所有水平都是稳定的, 即无论政府选择补贴或不补贴策略的概率如何, 政府的策略都不会随着时间发生变化. 当 $0 < y_0 < y < 1$ 时, 有

$$W(y) > 0, \left. \frac{dF(z)}{dz} \right|_{z=0} > 0, \left. \frac{dF(z)}{dz} \right|_{z=1} < 0,$$

此时 $z^* = 1$ 为演化稳定点; 当 $0 < x < x_0 < 1$ 时, 有

$$W(y) < 0, \left. \frac{dF(z)}{dz} \right|_{z=0} < 0, \left. \frac{dF(z)}{dz} \right|_{z=1} > 0,$$

此时 $z^* = 0$ 为演化稳定点. $F_G^P - \beta S_P < 0$ 证明同上. $\square$

综上, $F_G^P - \beta S_P > 0$ 的政府策略演化趋势见图4.

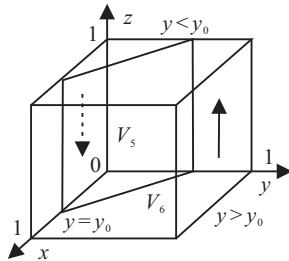


图4 政府策略动态趋势

命题6 在其他参数一定的条件下, 随着 α 、 β 增大, 政府更倾向于选择不补贴策略. 随着 F_G^I 、 F_G^P 增大, 政府更倾向于选择补贴策略. 即政府选择补贴策略的概率与其对平台和企业的补贴力度成反比, 与补贴时获得的声誉收益成正比.

证明 由于 $y_0 = \frac{C_G - x(F_G^I - \alpha S_I)}{F_G^P - \beta S_P}$, 当 α 、 β 增大时, y_0 的值逐渐增大, 图4中 V_6 的体积减小, 政府选择补贴策略的概率减小. 当 F_G^I 、 F_G^P 增大时, y_0 的值逐渐减小, 图4中 V_6 的体积增大, 政府选择补贴策略的概率增加. $\square$

3 系统的演化策略稳定性分析

第2节从单个博弈主体的角度出发, 分析了单个博弈主体策略演化过程以及影响其策略选择的因素, 工业互联网平台赋能制造企业转型升级需要政府、

平台和企业三者的共同作用, 因此, 统筹研究具有重大意义. 根据文献[24], 通过 Jacobian 矩阵的分析可以得到微分方程构成的动力系统的演化稳定策略. 由式(2)、(5)和(8)构成该模型的复制动态系统 Jacobian 矩阵为

$$\begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} \end{bmatrix}.$$

其中

$$p_{11} = (1-2x)[(\delta-1)C_I - R_I + R_I^O - k_O Q +$$

$$z\alpha S_I + y(R_I^N - R_I^O - k_N Q + k_O Q)],$$

$$p_{12} = -x(x-1)(R_I^N - R_I^O - k_N Q + k_O Q),$$

$$p_{13} = -x\alpha(x-1)S_I,$$

$$p_{21} = -y(y-1)(I_P + R_P^N - R_P^O),$$

$$p_{22} = (1-2y)[C_P^O - C_P^N +$$

$$x(I_P + R_P^N - R_P^O) + z\beta S_P],$$

$$p_{23} = -\beta y S_P(y-1), \quad p_{31} = -z(z-1)(F_G^I - \alpha S_I),$$

$$p_{32} = -z(z-1)(F_G^P - \beta S_P),$$

$$p_{33} = (1-2z)[-C_G + x(F_G^I - \alpha S_I) + y(F_G^P - \beta S_P)].$$

在3个博弈主体构成的动力系统中, 令 $F(x) = 0$, $F(y) = 0$, $F(z) = 0$ 可以得到系统的8个纯策略纳什均衡点分别为: $O(0, 0, 0)$, $A(0, 0, 1)$, $B(0, 1, 0)$, $C(0, 1, 1)$, $D(1, 0, 0)$, $E(1, 0, 1)$, $F(1, 1, 0)$, $G(1, 1, 1)$. 由李雅普诺夫第一法则可知, 雅克比矩阵的所有特征值为负时, 该均衡点才是系统的演化稳定点. 故将上述8个纯策略均衡点分别代入系统的雅克比矩阵, 可得到均衡点的 Jacobian 矩阵特征值如表3所示.

下面通过6种情形对系统的稳定性进行讨论.

情形1 当 $C_I < \min\{(R_I^O - R_I - k_O Q)/(1-\delta), (R_I^N - R_I - k_N Q + \alpha S_I)/(1-\delta)\}$, $C_P^N - C_P^O < I_P + R_P^N - R_P^O + \beta S_P$ 且 $C_G < \min\{F_G^I - \alpha S_I, F_G^P - \alpha S_I - \beta S_P\}$ 时, 该系统有且仅有唯一的演化稳定点 $G(1, 1, 1)$, 其对应的演化稳定策略为(加入平台, 优化服务, 补贴).

情形2 当 $C_I < \min\{(R_I^O - R_I - k_O Q)/(1-\delta), (R_I^N - R_I - k_N Q)/(1-\delta)\}$, $C_P^N - C_P^O < I_P + R_P^N - R_P^O$ 且 $C_G > \max\{F_G^P - \beta S_P, F_G^I + F_G^P - \alpha S_I - \beta S_P\}$ 时, 该系统有且仅有唯一的演化稳定点 $F(1, 1, 0)$, 其对应的演化稳定策略为(加入平台, 优化服务, 不补贴).

情形3 当 $(R_I^N - R_I - k_N Q + \alpha S_I)/(1-\delta) < C_I < (R_I^O - R_I - k_O Q)/(1-\delta)$, $C_P^N - C_P^O < \min\{\beta S_P, I_P + R_P^N - R_P^O\}$ 且 $F_G^I - \alpha S_I < C_G < F_G^P - \beta S_P$ 时, 该系统有且仅有唯一的演化稳定点 $C(0, 1, 1)$, 其对应

表3 Jacobian矩阵特征值

均衡点	特征值 λ_1	特征值 λ_2	特征值 λ_3
$O(0, 0, 0)$	$R_I^O - R_I - (1 - \delta)C_I - k_O Q$	$C_P^O - C_P^N$	$-C_G$
$A(0, 0, 1)$	$R_I^O - R_I - (1 - \delta)C_I + \alpha S_I - k_O Q$	$C_P^O - C_P^N + \beta S_P$	C_G
$B(0, 1, 0)$	$R_I^N - R_I - (1 - \delta)C_I - k_N Q$	$C_P^N - C_P^O$	$F_G^P - C_G - \beta S_P$
$C(0, 1, 1)$	$R_I^N - R_I - (1 - \delta)C_I + \alpha S_I - k_N Q$	$C_P^N - C_P^O - \beta S_P$	$C_G + \beta S_P - F_G^P$
$D(1, 0, 0)$	$R_I + (1 - \delta)C_I - R_I^O + k_O Q$	$C_P^O - C_P^N + I_P + R_P^N - R_P^O$	$F_G^I - C_G - \alpha S_I$
$E(1, 0, 1)$	$(1 - \delta)C_I + R_I - R_I^O - \alpha S_I + k_O Q$	$C_P^O - C_P^N + I_P + R_P^N - R_P^O + \beta S_P$	$\alpha S_I - F_G^I + C_G$
$F(1, 1, 0)$	$(1 - \delta)C_I + R_I - R_I^N + k_N Q$	$C_P^N - C_P^O - I_P - R_P^N + R_P^O$	$F_G^I + F_G^P - C_G - \alpha S_I - \beta S_P$
$G(1, 1, 1)$	$(1 - \delta)C_I + R_I - R_I^N - \alpha S_I + k_N Q$	$C_P^N - C_P^O - I_P - R_P^N + R_P^O - \beta S_P$	$C_G + \alpha S_I + \beta S_P - F_G^I - F_G^P$

的演化稳定策略为(不加入平台, 优化服务, 补贴).

情形4 当 $C_I < (R_I - R_I^O + k_O Q)/(1 - \delta)$, $C_P^N - C_P^O > I_P + R_P^N - R_P^O + \beta S_P$ 且 $C_G < \min\{F_G^I - \alpha S_I, F_G^I + F_G^P - \alpha S_I - \beta S_P\}$ 时, 该系统有且仅有唯一的演化稳定点 $E(1, 0, 1)$, 其对应的演化稳定策略为(加入平台, 一般服务, 补贴).

情形5 当 $C_I > (R_I^O - R_I - k_O Q)/(1 - \delta)$, $C_P^N - C_P^O > I_P + R_P^N - R_P^O + \beta S_P$ 且 $C_G > \max\{F_G^I - \alpha S_I, F_G^P - \beta S_P\}$ 时, 该系统有且仅有唯一的演化稳定点 $O(0, 0, 0)$, 其对应的演化稳定策略为(不加入平台, 一般服务, 不补贴).

情形6 当 $C_I < (R_I^O - R_I - k_O Q)/(1 - \delta)$, $C_P^N - C_P^O > \max\{I_P + R_P^N - R_P^O, \beta S_P\}$ 且 $C_G > \max\{F_G^I - \alpha S_I, F_G^I + F_G^P - \alpha S_I - \beta S_P\}$ 时, 该系统有且仅有唯一的演化稳定点 $D(1, 0, 0)$, 其对应的演化稳定策略为(加入平台, 一般服务, 不补贴).

4 仿真分析

针对系统较为理想的两种稳定性状态 $G(1, 1, 1)$ (情形1) 和 $F(1, 1, 0)$ (情形2), 验证本文演化稳定性分析的有效性并对比分析不同政府补贴力度和成本分担比例对系统演化结果的影响. 采用 Matlab R2019a 软件进行数值仿真, 根据文献[25]对参数赋值的方法以及两种情形下参数之间的相互作用进行赋值. 数组1: $R_P^N = 75$, $R_P^O = 72$, $R_I^N = 29$, $R_I^O = 28$, $R_I = 18$, $C_P^N = 40$, $C_P^O = 30$, $I_P = 2$, $S_P = 40$, $S_I = 15$, $C_I = 13$, $\alpha = 0.4$, $\beta = 0.3$, $\delta = 0.3$, $F_G^P = 30$, $F_G^I = 30$, $C_G = 5.5$, $k_N = 0.35$, $k_O = 0.05$, $Q = 15$. 数组2: $C_P^N = 35$, $I_P = 5$, $C_G = 10$, $F_G^P = 10$, $F_G^I = 10$, $S_I = 20$, $K_N = 0.05$, 其余参数同数组1.

4.1 模型检验

为检验系统演化稳定分析的有效性, 将数组1和数组2分别代入模型中进行仿真, 运行结果如图5和图6所示.

由图5和图6可见, 数组1条件下系统最终会演化到 $G(1, 1, 1)$, 与情形1的结论一致. 数组2条件下系

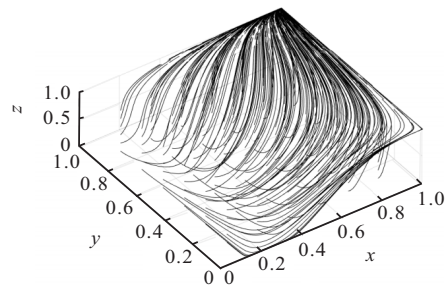


图5 数组1下系统的演化博弈仿真

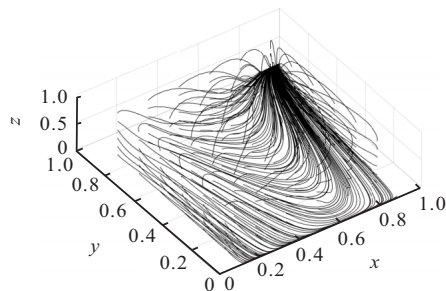


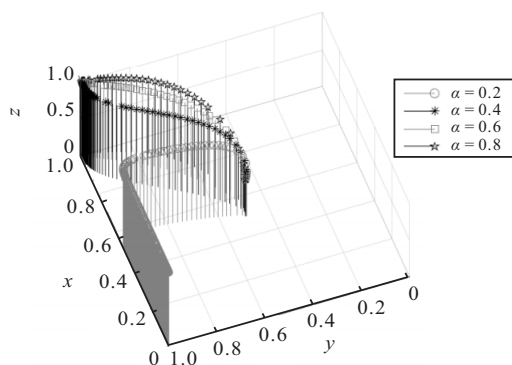
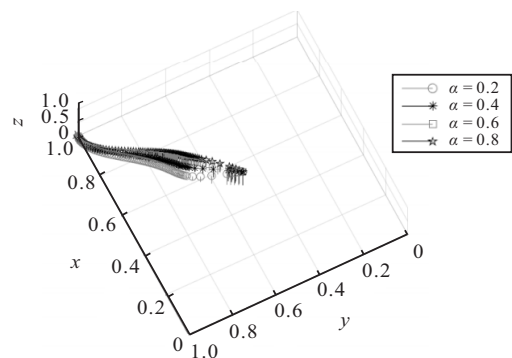
图6 数组2下系统的演化博弈仿真

统最终会演化到 $F(1, 1, 0)$, 与情形2的结论一致. 仿真分析与本文系统演化稳定分析结论一致, 模型具有有效性, 对政府、平台和企业具有重要的现实指导意义. 为消除初始概率值对系统演化的影响, 令博弈主体政府、平台和企业初始策略概率的取值分别为0.5、0.5、0.5, 研究 α 、 β 、 δ 对系统演化结果的影响.

4.2 政府对企业补贴力度 α

为研究情形1和情形2下政府对企业补贴力度的变化对系统演化结果的影响, 在其他参数一定的条件下, 令 α 的取值分别为0.2、0.4、0.6、0.8, 仿真结果如图7和图8所示.

由图7可见, 政府对企业补贴力度 α 其临界值位于0.2 ~ 0.4之间, 当政府对企业补贴力度小于此临界值时, 企业、平台和政府最终分别会选择加入平台、一般服务和不补贴策略, 此时系统的演化稳定点为 $O(0, 0, 0)$. 当政府对企业补贴力度大于此临界值时, 企业、平台和政府最终分别会选择加入平台、优化服务和补贴策略, 此时系统的演化稳定点为 $G(1, 1, 1)$. 此外还可以看出, 当政府对企业补贴力度

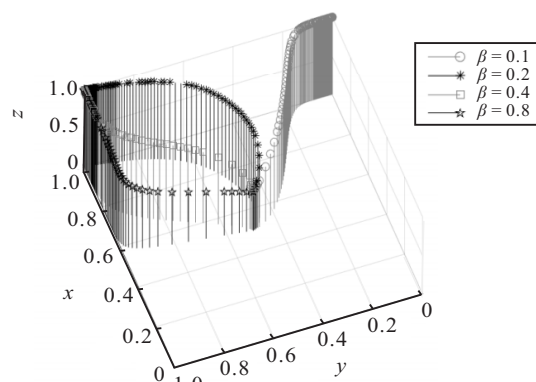
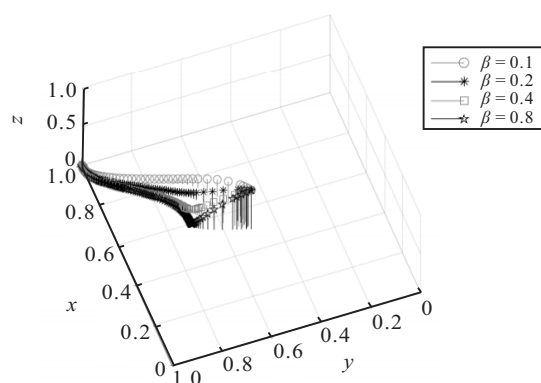
图7 情形1下 α 变化对系统演化结果的影响图8 情形2下 α 变化对系统演化结果的影响

由0.4提高到0.6时,系统演化到 $G(1, 1, 1)$ 的速率增大,而当其由0.6提高到0.8时,系统演化到 $G(1, 1, 1)$ 的速率减小. 即情形1下,政府对平台合理力度的补贴不仅可以推动企业加入平台,还可以加快系统演化到 $G(1, 1, 1)$ 的速率. 由图8可见,在情形2下政府对平台补贴力度的变化不影响系统的演化稳定点,只影响系统演化到稳定点的速率. 系统演化到 $F(1, 1, 0)$ 的速率随着政府对平台补贴力度的增大而增大,这是因为在情形2下,即使政府不对平台进行补贴,企业加入平台也会获得较大收益,故此时政府补贴不影响企业策略选择.

4.3 政府对平台补贴力度 β

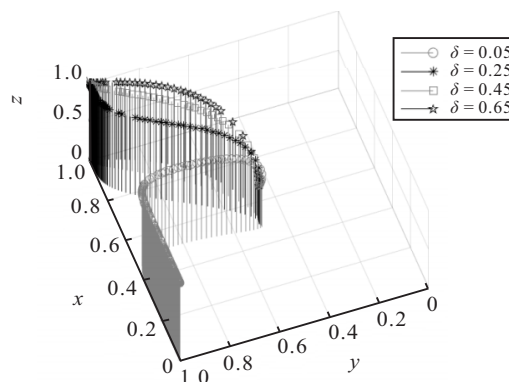
为了研究情形1和情形2下政府对平台补贴力度 β 的变化对系统演化结果的影响,在其他参数一定的条件下,令 β 的取值分别为0.1、0.2、0.4、0.8. 仿真结果如图9和图10所示. 由图9可见,政府对平台补贴力度 β 的临界值位于0.1~0.2之间,当政府对平台补贴力度小于此临界值时,企业、平台和政府最终分别会选择加入平台、一般服务和不补贴策略,此时系统的演化稳定点为 $E(1, 0, 1)$. 当政府对平台补贴力度大于此临界值时,企业、平台和政府最终分别会选择加入平台、优化服务和补贴策略,此时系统的演化稳定点为 $G(1, 1, 1)$. 当政府对平台的补贴力度由0.2提高到0.4时,系统演化到 $G(1, 1, 1)$ 的速率增大,而当其由0.4提高到0.8时,系统演化到 $G(1, 1, 1)$ 的速率

减小. 即情形2下,政府对平台补贴力度的增大可以推动平台进行优化服务. 由图10可见,在情形2下政府对平台补贴力度的变化也不影响系统的演化稳定点. 因为在情形2下,即使政府不对平台进行补贴,平台优化服务的收益也会较大,故此时政府补贴不影响平台策略选择. 对比图7和图9可知,在情形2下,政府对平台和企业补贴力度的大小不会影响平台和企业策略选择,只会影响其策略选择的速率.

图9 情形1下 β 变化对系统演化结果的影响图10 情形2下 β 变化对系统演化结果的影响

4.4 成本分担比例 δ

为了研究情形1和情形2下成本分担比例 δ 对系统演化结果的影响,在其他参数一定的条件下,令 δ 的取值分别为0.05、0.25、0.45、0.65. 仿真结果如图11和图12所示.

图11 情形1下 δ 变化对系统演化结果的影响

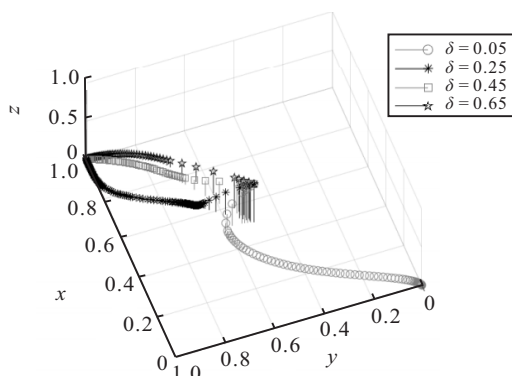


图 12 情形 2 下 δ 变化对系统演化结果的影响

由图 11 可见,成本分担比例 δ 的临界值位于 0.05 ~ 0.25 之间,当成本分担比例小于此临界值时,企业、平台和政府最终分别会选择加入平台、优化服务和补贴策略,此时系统的演化稳定点为 $C(0, 1, 1)$ 。当成本分担比例大于此临界值时,企业、平台和政府最终分别会选择加入平台、优化服务和补贴策略,此时系统的演化稳定点为 $G(1, 1, 1)$ 。即在情形 1 下,除政府对企业的补贴力度外,平台成本分担比例也是改变企业策略选择的重要因素。只有成本分担比例大于某一阈值时,企业最终才会选择加入平台。此外还可以发现,成本分担比例 δ 的变化也会影响政府最终策略的选择。由图 12 可见,情形 2 下成本分担比例 δ 的临界值与情形 1 处于同一区间,但当成本分担比例小于此临界值时,企业、平台和政府最终分别会选择加入平台、一般服务和不补贴策略,此时系统的演化稳定点为 $O(0, 0, 0)$ 。即情形 2 下,成本分担比例的变化会改变平台和企业最终的策略选择。

5 结论

本文基于我国制造业企业和工业互联网平台发展现状,构建了政府、平台和企业 3 个利益相关者之间的演化博弈模型,得出以下结论:

1) 三方博弈主体的策略选择受到多种因素的影响。制造业企业最终策略选择主要受到政府补贴力度、成本分担比例以及加入平台的成本和可能产生的信息泄露损失的影响,故政府应设置合理的设置补贴力度,减少制造业企业成本压力,鼓励制造业企业入平台用平台,加快制造业企业数字化转型进程。同时平台应该积极进行平台建设管理,为制造业企业提供更好发展环境。平台的策略选择主要受到制造业企业粘性、政府补贴力度以及其优化服务成本的影响,政府应加强对优化服务平台的激励,同时平台应努力创新发展,增强平台自身吸引力。政府最终的策略选择除了受到其补贴力度的影响,还受到因补贴产生的声誉收益的影响。

2) 情形 1 下政府选择补贴策略时,不同的补贴力度会改变系统最终的稳定状态。当政府对制造业企业和工业互联网平台的补贴力度较小时,系统的演化稳定点分别为 $O(0, 0, 0)$ 和 $E(1, 0, 1)$; 补贴力度较大时,系统的演化稳定点为 $G(1, 1, 1)$ 。随着补贴力度的增大,系统演化到 $G(1, 1, 1)$ 的速率先增大后减小。这是因为当政府补贴力度增大到一定程度时,政府的成本压力变大,其选择补贴策略的速率减小。不同于情形 1、情形 2 下政府策略选择不会影响平台和企业的策略选择,只会影响二者策略选择的速率。

3) 成本分担比例的大小不仅会影响制造业企业和工业互联网平台最终的策略选择,也会影响政府最终的策略选择。只有当成本分担比例大于一定阈值时,制造业企业最终才会选择加入平台策略。

4) 成本分担比例和政府对企业的补贴力度的增大都可以提高企业加入平台、平台优化服务的积极性,政府和平台可以通过改变成本分担比例和政府对企业补贴力度的大小进行利益协调,以推动企业加入平台和平台优化服务。

本研究考虑了工业互联网平台赋能下制造业企业数字化、网络化、智能化转型升级的 3 个重要利益相关者——政府、工业互联网平台以及制造业企业之间的利益博弈,揭示了政府补贴和成本共担等多个因素影响下各个博弈主体的策略选择机制,为政府、工业互联网平台特别是想要依靠平台进行数字化转型发展的制造业企业提供了理论参考。此外,在模型建立过程中将各个决策主体看作是风险中性的,今后的研究可以引入风险偏好行为,研究不同风险偏好下决策主体的策略选择。

参考文献(References)

- [1] 宋颖昌. 紧抓产业发展机遇深化工业互联网平台体系建设[N]. 中国电子报, 2020-09-29(4).
- [2] 吕文晶, 陈劲, 刘进. 工业互联网的智能制造模式与企业平台建设——基于海尔集团的案例研究[J]. 中国软科学, 2019(7): 1-13.
(Lv W J, Chen J, Liu J. Intelligent manufacturing and firm-level platform building in industrial Internet: A case study of haier[J]. China Soft Science, 2019(7): 1-13.)
- [3] 张朝. 工业互联网平台加速培育制造业新模式——《工业互联网创新发展行动计划(2021—2023年)》解读[N]. 中国电子报, 2021-01-22(6).
- [4] Shao M K, He X L, Zhou Y, et al. Research on the value, challenges and countermeasures of industrial Internet platform services for digital transformation of small and micro enterprises[J]. Science Technology and Industry, 2020, 20(7): 61-64.
- [5] 汪明月, 李颖明. 多主体参与的绿色技术创新系统均

- 衡及稳定性[J]. 中国管理科学, 2021, 29(3): 59-70.
(Wang M Y, Li Y M. Equilibrium and stability of green technology innovation system with multi-agent participation[J]. Chinese Journal of Management Science, 2021, 29(3): 59-70.)
- [6] Xia X Q, Cao Y. Studying on the impact of government subsidies on manufacture/remanufacture based on outsourcing remanufacturing[J]. Systems Engineering—Theory & Practice, 2020, 40(7): 1780-1791.
- [7] Zhang J, Huang J. Vehicle product-line strategy under government subsidy programs for electric/hybrid vehicles[J]. Transportation Research—Part E: Logistics and Transportation Review, 2021, 146: 102221.
- [8] 熊勇清, 李小龙, 黄恬恬. 基于不同补贴主体的新能源汽车制造商定价决策研究[J]. 中国管理科学, 2020, 28(8): 139-147.
(Xiong Y Q, Li X L, Huang T T. Research on new energy vehicle manufacturers pricing decision basis for different subsidy bodies[J]. Chinese Journal of Management Science, 2020, 28(8): 139-147.)
- [9] Bian J S, Zhang G Q, Zhou G H. Manufacturer vs. consumer subsidy with green technology investment and environmental concern[J]. European Journal of Operational Research, 2020, 287(3): 832-843.
- [10] Bigerna S, Wen X G, Hagspiel V, et al. Green electricity investments: Environmental target and the optimal subsidy[J]. European Journal of Operational Research, 2019, 279(2): 635-644.
- [11] Jung S H, Feng T J. Government subsidies for green technology development under uncertainty[J]. European Journal of Operational Research, 2020, 286(2): 726-739.
- [12] Gu X Y, Zhou L, Huang H F, et al. Electric vehicle battery secondary use under government subsidy: A closed-loop supply chain perspective[J]. International Journal of Production Economics, 2021, 234: 108035.
- [13] Yang R, Tang W S, Zhang J X. Technology improvement strategy for green products under competition: The role of government subsidy[J]. European Journal of Operational Research, 2021, 289(2): 553-568.
- [14] Zhao X M, Meng X X. Evolutionary game decision between manufacturer and remanufacturer in the authorization mode[J]. Chinese Journal of Management Science, 2021, 29(2): 129-136.
- [15] He P, Wang Z, Shi V, et al. The direct and cross effects in a supply chain with consumers sensitive to both carbon emissions and delivery time[J]. European Journal of Operational Research, 2021, 292(1): 172-183.
- [16] 王文宾, 丁军飞, 达庆利. 奖惩机制下闭环供应链的成本共担-利润共享契约[J]. 控制与决策, 2019, 34(4): 843-850.
(Wang W B, Ding J F, Da Q L. Cost-profit sharing contract for a closed-loop supply chain under reward-penalty mechanism[J]. Control and Decision, 2019, 34(4): 843-850.)
- [17] Xu X P, Zhang M, He P. Coordination of a supply chain with online platform considering delivery time decision[J]. Transportation Research—Part E: Logistics and Transportation Review, 2020, 141: 101990.
- [18] 支帮东, 陈俊霖, 刘晓红. 碳限额与交易机制下基于成本共担契约的两级供应链协调策略[J]. 中国管理科学, 2017, 25(7): 48-56.
(Zhi B D, Chen J L, Liu X H. The coordination strategy for two-tier supply chains with a cost-sharing contract in the cap-and-trade mechanism[J]. Chinese Journal of Management Science, 2017, 25(7): 48-56.)
- [19] 陈洪转, 黄鑫, 王伟明. 考虑成本共担的复杂产品零部件协同创新Stackelberg优化研究[J]. 中国管理科学, DOI: 10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2019.1774.
(Chen H Z, Huang X, Wang W M. Stackelberg optimization for spare parts's collaborative innovation of complex products considering cost sharing[J]. Chinese Journal of Management Science, DOI: 10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2019.1774.)
- [20] Hua L L, Deng S J, Wang J G, et al. Considering customer utility and time-varying quality[J]. Chinese Journal of Management Science, DOI: 10.16381/j.cnki./issn1003-207x.2019.0488.
- [21] Chakraborty T, Chauhan S S, Ouhimmou M. Cost-sharing mechanism for product quality improvement in a supply chain under competition[J]. International Journal of Production Economics, 2019, 208: 566-587.
- [22] Fan J C, Ni D B, Fang X. Liability cost sharing, product quality choice, and coordination in two-echelon supply chains[J]. European Journal of Operational Research, 2020, 284(2): 514-537.
- [23] 吴庆, 但斌. 物流服务水平影响市场需求变化的TPL协调合同[J]. 管理科学学报, 2008, 11(5): 64-75.
(Wu Q, Dan B. Third party logistics coordinating contracts with logistics service dependent market demand[J]. Journal of Management Sciences in China, 2008, 11(5): 64-75.)
- [24] Friedman D. Evolutionary games in economics[J]. Econometrica, 1991, 59(3): 637-666.
- [25] Qu G H, Yang L, Qu W H, et al. Game model to analyze strategy options between government regulation and public supervision under the third party international environmental audit[J]. Chinese Journal of Management Science, 2021, 29(4): 225-236.

作者简介

周晓阳(1984—), 女, 教授, 博士生导师, 从事平台经济与管理、供应链管理研究, E-mail: x.y.zhou@foxmail.com;

赵凡(1996—), 女, 硕士生, 从事平台经济与管理、供应链管理研究, E-mail: zhaofan961226@163.com;

刘莹(1994—), 女, 硕士生, 从事平台经济与管理、供应链管理研究, E-mail: liuflying0@163.com;

汪寿阳(1958—), 男, 教授, 博士生导师, 从事计量模型与预测、风险管理研究, E-mail: sywang@amss.ac.cn.

(责任编辑: 郑晓蕾)